



Instituto
Nacional
de Tecnología
Industrial

INTI

Suma valor
a un país de ideas

Copia Controlada N°2
Válida sólo desde servidor Calidad

Procedimiento específico: PEMA02A

CALIBRACIÓN SECUNDARIA DE ACELERÓMETROS PIEZOELÉCTRICOS POR COMPARACIÓN CON UN PATRÓN SEGÚN NORMA ISO 16063-21

Revisión: Septiembre 2020

Este documento se ha elaborado con recursos del Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

PEMA02A Indice: Septiembre 2020

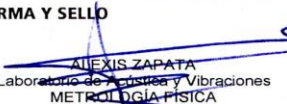
NOMBRE DEL CAPÍTULO	REVISIÓN
Página titular	Septiembre 2020
Lista de enmiendas	Septiembre 2020
Índice	Septiembre 2020
Calibración secundaria de acelerómetros piezoeléctricos por comparación con un patrón según NORMA ISO 16063-21	Septiembre 2020
Apéndice 1	Septiembre 2020
Apéndice 2	Septiembre 2020

PREPARADO POR

FIRMA Y SELLO

TEC. KALIRO BEBEVENIA
 UTACUSTICA
 INTI - FISICA Y METROLOGIA

PREPARADO POR

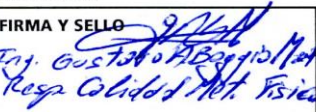
FIRMA Y SELLO

ALEXIS ZAPATA
 Laboratorio de Acústica y Vibraciones
 METROLOGÍA FÍSICA

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO

LIC. FEDERICO SERRANO
 Laboratorio de Acústica y Vibraciones
 METROLOGÍA FÍSICA

REVISADO POR

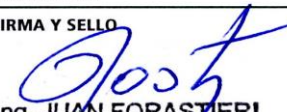
FIRMA Y SELLO

Ing. Gustavo B. Baggio
 Resp. Calidad Mt. Física

REVISADO POR

FIRMA Y SELLO

Ing. ALEJANDRO SAVARIN
 JEFE DEPTO. MECANICA Y ACOUSTICA
 METROLOGÍA FÍSICA

APROBADO POR

FIRMA Y SELLO

Ing. JUAN FORASTIERI
 DIRECTOR TÉCNICO
 METROLOGÍA FÍSICA

PEMA02A: Septiembre 2020

1. Objetivo

Establecer los métodos de calibración secundaria de acelerómetros por comparación con un acelerómetro patrón, por el método denominado "back-to-back", según los lineamientos de la norma ISO 16063-21:2003.

2. Alcance

Acelerómetros piezoeléctricos empleados como patrones secundarios o en la medición de vibraciones, en el rango de 10 Hz a 10 kHz para la frecuencia y de 1 m/s² a 100 m/s² en la aceleración.

3. Definiciones y abreviaturas

Se encuentran en las normas y manuales de referencia.

4. Referencias

- Cartas de calibración del acelerómetro patrón de trabajo y del acelerómetro a calibrar (sensor bajo calibración) y certificados periódicos de calibración del acelerómetro patrón de trabajo.
- Norma ISO 16063-21:2003.

5. Responsabilidades

Jefe de Departamento de Mecánica y Acústica

Supervisa la realización de estos trabajos, verifica que se cumplan los procedimientos y revisa los resultados.

Profesionales y Técnicos del Laboratorio de Acústica y Vibraciones

Realiza las calibraciones aplicando el presente procedimiento de calibración, procesando los correspondientes datos y emitiendo el certificado.

6. Instrucciones

Las instrucciones de trabajo se efectúan de acuerdo con el siguiente procedimiento, correspondiente a las referencias del punto 4: Se eligen valores de referencia la frecuencia y la aceleración en m/s² de la calibración del patrón de trabajo.

6.1. Identificación y almacenamiento

Los acelerómetros que se calibran se identifican de acuerdo con las instrucciones del Manual de Calidad de Metrología Física y se guardan, desde su ingreso hasta la devolución al cliente, en el Laboratorio de Interferometría, sala N° 62.

6.2. Instrumentos que se utilizan

- Acelerómetro patrón de trabajo marca Brüel & Kjaer tipo 8305.
- Excitador de Vibraciones marca Brüel & Kjaer tipo 4808.
- Generador de onda sinusoidal marca Agilent, modelo 33210A.

PEMA02A: Septiembre 2020

- Amplificador de Potencia marca Brüel & Kjaer tipo 2707.
- Amplificadores de Carga acondicionadores de Sensibilidad, marca Brüel & Kjaer tipo 2650 y 2635.
- Multímetro Hewlett-Packard modelo 34401A. (Canal A)
- Multímetro Hewlett-Packard modelo 34401A. (Canal B)
- Distorsímetro Kronhite Modelo 6900B.
- Osciloscopio marca Tektronic, modelo TDS1001B.
- Higrotermómetro TFA Acu 1.
- Soporte LV0200 con montaje LV02BB y adaptador LV02B1.

6.3. Instrucciones para la calibración secundaria de acelerómetros piezoeléctricos

6.3.1. Aplicar los puntos indicados en el PEMA03A.

NOTA: Si el sensor bajo calibración fuera de más peso que el conjunto acelerómetro patrón de referencia-adaptador LV02B1 debe repetirse el PEMA03A y emular el peso del sensor a calibrar con la masa del adaptador y el acelerómetro patrón de referencia. Si el acelerómetro es del tipo miniatura, siendo demasiado pequeño para contar con un orificio roscado en su carcasa, o estuviera previsto sujetarlo de una manera distinta a la de un único tornillo en el centro de su base, se diseñará un adaptador que permita sujetarlo y mantenga ambos acelerómetros (patrón de trabajo y sensor bajo calibración) alineados con el eje del excitador B&K 4808.

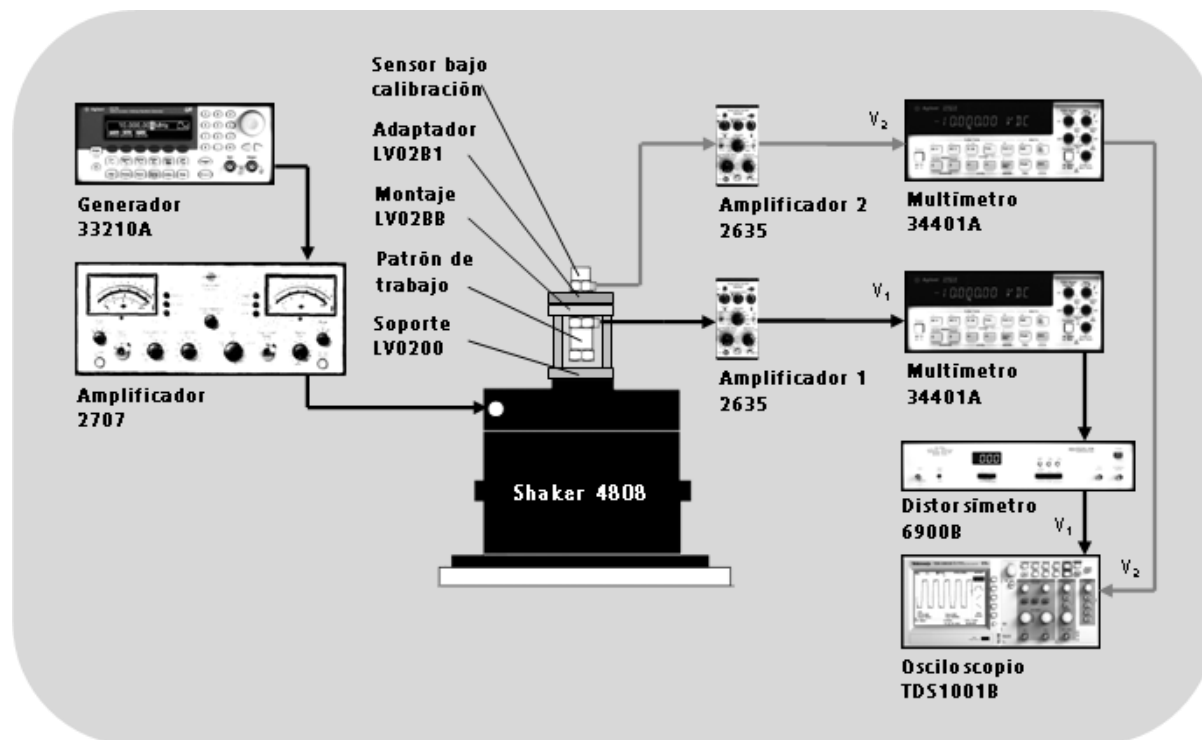


Figura 1. Diagrama en bloque de las conexiones

6.3.2. Según el diagrama de la Figura 1, conectar mediante un cable BNC-BNC la salida frontal Output del generador de funciones arbitrarias Agilent modelo 33210A al conector trasero Signal Input AC del amplificador de potencia Brüel & Kjaer tipo 2707. Este último se conecta

PEMA02A: Septiembre 2020

a su vez a través del conector posterior Amplifier Output al conector Input del excitador de vibraciones Brüel & Kjaer tipo 4808.

6.3.3. Conectar el cable microdot de salida de cada acelerómetro a la entrada microdot de sus respectivos amplificadores de carga.

6.3.4. La salida de tensión del conjunto “acelerómetro patrón de trabajo-amplificador de carga 1” (V_1), se conecta a la entrada frontal del multímetro Hewlett-Packard modelo 34401A (Canal A) y la salida de tensión del conjunto “sensor bajo calibración-amplificador de carga 2” (V_2) a la entrada frontal del multímetro Hewlett-Packard modelo 34401A. (Canal B)

6.3.5. Al mismo tiempo, se conectan ambas salidas eléctricas en paralelo al osciloscopio Tektronic, modelo TDS1001B. Conectando en el canal 1 del panel frontal la salida V_1 y en el canal 2 del panel frontal la salida V_2 . Ambas salidas se conectan en forma alternada durante la medición al Distorsímetro Kronhite Modelo 6900B debido a que posee una única entrada.

6.3.6. Antes de medir se deben configurar los setup de los multímetros HP modelo 34401A y del generador de funciones arbitrarias Agilent modelo 33210A. Para el caso de los multímetros se selecciona en el menú: frecuencia inferior de corte en 3 Hz, lectura slow de 6 dígitos y para el caso del generador se selecciona en utilidades: tipo de salida “High Z”.

6.3.7. En los amplificadores de carga utilizados a la salida de los acelerómetros, el que se calibra y el patrón, se seleccionan los controles en las siguientes posiciones: (a) Para amplificadores de carga B&K modelo 2635 utilizados con un sensor a calibrar, los controles se utilizarán en las posiciones siguientes: Transducer sensitivity en 1,00; mVolt/Unit Out en 1, 10 ó 100; Lower Frequency Limit en 0,2 Hz y Upper Frequency Limit en >100 kHz. (b) Para amplificadores de carga B&K modelo 2635 utilizados con un patrón de trabajo, los controles se utilizarán en las posiciones siguientes: Transducer sensitivity en 1,00; mVolt/Unit Out en 100; Lower Frequency Limit en 0,2 Hz y Upper Frequency Limit en >100 kHz. (misma configuración usada en el procedimiento PEMA03A)

6.3.8. Antes de encender el amplificador de potencia Brüel & Kjaer tipo 2707, verificar que los controles en el frente estén en las posiciones siguientes:

Power: en Off

Output Impedance: LOW

Current Limit: 14 A rms

Head Constant (NO DEBE TOCARSE NUNCA. Ha sido fijada al conectar el Excitador de Vibraciones Brüel & Kjaer 4808 en un valor de 2,8 inches/V/s).

Displacement Limit: 0,8 mm

Direct Current Output: Se ajusta por peso según si se hace uso o no de un adaptador, para que el elemento móvil esté centrado verticalmente.

Amplifier Range: Debe estar en Reset

Range A rms: 30

Range V rms: 10

6.3.9. Encender el amplificador de potencia B&K tipo 2707 llevando la perilla Power a ON y luego a Load On. Si quedaran luces prendidas, se logra apagarlas girando la perilla Amplifier Gain de la posición 0 a RESET.

6.3.10. Llevar en el amplificador de potencia el Amplifier Gain a 9, valor de amplificación adecuado para este procedimiento

6.3.11. Se mide la temperatura ambiente en cercanía del acelerómetro.

PEMA02A: Septiembre 2020

6.3.12. Se seleccionan las frecuencias de la calibración, en bandas de tercio de octava, preferentemente las de calibración del acelerómetro patrón de trabajo y que siempre deberán incluir la frecuencia de referencia del mismo.

6.3.13. Dichas frecuencias se ingresan en el generador de funciones arbitrarias Agilent modelo 33210A seleccionando la opción "Sine" en el teclado frontal de selección de función, luego en pantalla la opción "Freq" con las teclas de menú y por último mediante el teclado numérico se ingresan los distintos valores de frecuencia.

6.3.14. Para cada una de esas frecuencias, se selecciona en pantalla la opción "Amp" del menú y luego mediante el teclado numérico se ingresa un valor de tensión en rms. Mediante el botón "Output" se habilita la salida del generador al amplificador de potencia B&K tipo 2707 y luego con la "Perilla" del panel frontal se generan niveles de amplitud en Volts RMS equivalentes a una señal de aceleración sinusoidal RMS en m/s^2 , preferentemente también los niveles empleados en la calibración del acelerómetro patrón de trabajo (PEMA03A). Verificando, antes y después de la medición, el nivel empleado en cada punto de frecuencia y chequeando que no superen el 2% de distorsión.

6.3.15. Se consignan los resultados obtenidos en una Tabla (que figura en el Apéndice 1 de este procedimiento). En dicha Tabla, figuran las frecuencias de la señal generadas por el generador de funciones arbitrarias Agilent modelo 33210A; la Aceleración Nominal usada en la calibración por transferencia (PEMA03A); V_1 Nominal que es la tensión nominal a buscar a la salida del conjunto acelerómetro patrón de trabajo-amplificador de carga 1, equivalente a la Aceleración Nominal; V_1 la tensión eléctrica medida a la salida del conjunto acelerómetro patrón de trabajo-amplificador de carga 1; V_2 la tensión eléctrica medida a la salida del conjunto sensor bajo calibración-amplificador de carga 2.

Las mediciones pueden realizarse también mediante el sistema automatizado, donde todo el equipamiento involucrado será seteado automáticamente según lo detallado desde el punto 6.3.6, utilizando el soft de medición "calibracionPEMA02A_v1.0.vi".

Los resultados obtenidos, de forma manual o automatizada, también pueden consignarse de manera digital utilizando la planilla del archivo Excel "calculosPEMA02A_v1.0.xls".

La sensibilidad del conjunto sensor bajo calibración-amplificador de carga 2 (S_2), se calcula para cada frecuencia de medición mediante la siguiente fórmula:

$$S_2 = \frac{V_2}{V_1} \times (S_a \times S_p) \text{ [V/(m/s}^2\text{)]}$$

Donde:

V_1 la tensión eléctrica a la salida del conjunto acelerómetro patrón de trabajo-amplificador de carga 1,

V_2 la tensión eléctrica a la salida del conjunto sensor bajo calibración-amplificador de carga 2,

S_a la sensibilidad del acelerómetro patrón obtenida por interferometría láser (PEMA12A),

S_p la sensibilidad del amplificador de carga 1 obtenida por procedimiento PEMA15A.

S_2 la sensibilidad del conjunto sensor bajo calibración-amplificador de carga 2.

PEMA02A: Septiembre 2020

6.3.16. Aplicar punto 6.3.4.20 del PEMA12A para hallar la sensibilidad individual del acelerómetro bajo calibración.

6.4. Condiciones ambientales

Temperatura: (23 ± 5) °C

Humedad: < 75%

Estas condiciones ambientales, establecidas en la norma ISO 16063-21:2003, se registran en la Planilla de resultados del Apéndice 1.

6.5. Incertidumbre en las mediciones

De acuerdo con el Apéndice 2 de este procedimiento, la incertidumbre expandida en la determinación de la sensibilidad del acelerómetro que se calibra (S_c) es de:

10 Hz a 50 Hz: 1,5 %

>50 Hz a 200 Hz: 0,8 %

>200 Hz a 1 kHz: 0,9 %

>1 kHz a 5 kHz: 1,7 %

>5 kHz a 10 kHz: 2,0 %

Esta incertidumbre se calculó multiplicando la incertidumbre estándar combinada por un factor de cubrimiento $k=2$, correspondiente a un nivel aproximado de confianza del 95 % bajo distribución normal (Ver cálculo en el Apéndice 2).

7. Registros de la Calidad

Se conservan registros manuscritos de las observaciones originales, copia de los certificados emitidos y demás documentación relacionada, de acuerdo con el Manual de la Calidad de Metrología Física.


8. Precauciones

No aplicable.

9. Apéndices y anexos

APÉNDICE	TÍTULO
1	Planilla de resultados
2	Cálculo de incertidumbres

PEMA02A Apéndice 1: Septiembre 2020

		Dpto. de Mecánica y Acústica Laboratorio de Acústica y Vibraciones
OT N°	Fecha	Intervino:
Cliente:	Hoja /	Verificó:

1. DETERMINACIONES REQUERIDAS.

Calibración secundaria de acelerómetros piezoeléctricos por comparación con un patrón según PEMA 02A (normalizado en ISO 16063-21)

2. ELEMENTOS ENSAYADOS/CALBRADOS/VERIFICADOS.

Marca: _____ Marca: _____
Modelo: _____ Modelo: _____
N°serie: _____ N°serie: _____

3.- CONDICIONES AMBIENTALES.

Temperatura: _____ [°C] Humedad relativa: _____ [%]

4.- MEDICIONES.

Frecuencia Nominal [Hz]	Aceleración Nominal [m/s ²]	Tensión Nominal V ₁ Patrón [mV] RMS	Tensión Medida V ₁ Patrón [mV] RMS	Tensión Medida V ₂ UUT [] RMS

5.- OBSERVACIONES.

PEMA02A Apéndice 2: Septiembre 2020

Planilla de Cálculo de incertidumbres

PEMA02A. Calibración secundaria de acelerómetros piezoeléctricos por comparación con un patrón según NORMA ISO 16063-21.

Frecuencia		10 Hz		a		50 Hz					
Fuente de incertidumbre	Tipo B	Valor	Intervalo	$c^{(1)}$	Distribución ⁽²⁾	Factor	$n^{(3)}$	u_i	Contribución %	$W \cdot S$	$(u_i \cdot c)^2$
Medición Voltaje en Patrón (precisión multímetro)		1,15E-01 mV		-8,16E-02 [-pC/mV(m/s ²)]	R	1,7	12	6,66E-02	0,5%	1,64E-06	2,95E-05
Medición Voltaje en Patrón (resolución multímetro)		5,00E-05 mV		-8,16E-02 [-pC/mV(m/s ²)]	R	1,7	10000	2,89E-05	0,0%	6,94E-23	5,55E-12
Medición Voltaje en UUT (precisión multímetro)		3,62E-01 mV		9,95E-02 pC/mV(m/s ²)	R	1,7	12	2,09E-01	7,4%	1,59E-04	4,32E-04
Medición Voltaje en UUT (resolución multímetro)		5,00E-07 mV		9,95E-02 pC/mV(m/s ²)	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31	8,25E-16
Calibración amplificador de carga del Patrón		1,56E-01 mV/pC		1,04E-01 [-pC/mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,82E-02	1,1%	3,75E-09	6,62E-05
Calibración amplificador de carga del UUT		1,66E-03 mV/pC		-1,03E+01 [-pC/mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	8,28E-04	1,2%	4,69E-17	7,26E-05
Calibración acelerómetro patrón		1,77E-03 pC/(m/s ²)		8,12E+01	N	2,0	10000	8,84E-04	88,6%	6,11E-17	5,15E-03
Drift del patrón (a cinco años, 0,05%/año)		6,49E-05 pC/(m/s ²)		8,12E+01	N	2,0	10000	3,25E-05	0,1%	1,11E-22	6,94E-06
Influencia torque (base strain)		0,003		1,00E+00	R	1,7	10000	1,73E-06	0,0%	9,00E-28	3,00E-12
Influencia de la temperatura (patrón)		5,05E-05 pC/(m/s ²)		1,00E+00	N	2,0	10000	2,53E-05	0,0%	4,07E-23	6,38E-10
Influencia de la temperatura (UUT)		5,13E-03 pC/(m/s ²)		1,00E+00	N	2,0	10000	2,56E-03	0,1%	4,31E-15	6,57E-06
Movimiento Transversal		1,36E-01 mV		9,95E-02 pC/mV(m/s ²)	N	2,0	10000	6,81E-02	0,8%	2,15E-09	4,59E-05
Estimación de la incertidumbre tipo B, k=1		u_c			N (1σ)		2,11E-01				7,62E-02
Fuente de incertidumbre tipo A				$c^{(1)}$			$n^{(3)}$	u_i	Contribución %	$W \cdot S$	$(u_i \cdot c)^2$
Repetibilidad Voltaje en Patrón		mV		-8,16E-02 [-pC/mV(m/s ²)]			1,20E+01	1,51E-02	0,0%	4,35E-09	1,52E-06
Repetibilidad Voltaje en UUT		mV		9,95E-02 pC/mV(m/s ²)			1,20E+01	1,37E-02	0,0%	2,94E-09	1,86E-06
Estimación de la incertidumbre tipo A, k=1									100,0%		1,84E-03
Contribución %											
Sumatoria c^2											5,81E-03
Incertidumbre combinada											7,62E-02
Incertidumbre expandida											
			Tipo A, N(95%)		Distribución ⁽²⁾	Factor					
			Tipo B, N(95%)		k	2,0					
Incertidumbre expandida, k=2					k	2,0					1,52E-01
Incertidumbre final											
											1,52E-01
											1,49

(1) Coeficientes de sensibilidad
(2) N: normal; Rectangular
(3) Grados de libertad

PEMA02A Apéndice 2: Septiembre 2020

Planilla de Cálculo de incertidumbres

PEMA02A: Calibración secundaria de acelerómetros piezoeléctricos por comparación con un patrón según NORMA ISO 16063-21.

Frecuencia		>50 Hz		a		200 Hz			
Fuente de incertidumbre Tipo B									
Medición Voltaje en Patrón (precisión multímetro)	Valor	Intervalo	$c_i^{(1)}$	Distribución ⁽²⁾	Factor	$n_i^{(3)}$	u_i	Contribución %	W-S
		4,51E-01 mV	-4,03E-02 [pC/mV(m/s ²)]	R	1,7	12	2,60E-01	6,1%	3,84E-04
Medición Voltaje en Patrón (resolución multímetro)		5,00E-07 mV	-4,03E-02 [pC/mV(m/s ²)]	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31
Medición Voltaje en UUT (precisión multímetro)		4,22E-01 mV	4,98E-02 pC/mV(m/s ²)	R	1,7	12	2,44E-01	8,1%	2,95E-04
Medición Voltaje en UUT (resolución multímetro)		5,00E-07 mV	4,98E-02 pC/mV(m/s ²)	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31
Calibración amplificador de carga del Patrón		1,57E-01 mV/pC	1,03E-01 [pC/mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,86E-02	3,6%	3,82E-09
Calibración amplificador de carga del UUT		1,66E-03 mV/pC	-1,02E+01 [pC/mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	8,28E-04	3,9%	4,69E-17
Calibración acelerómetro patrón		8,84E-04 pC/(m/s ²)	8,05E+01	N	2,0	10000	4,42E-04	69,8%	3,81E-18
Drift del patrón (a cinco años, 0,05%/año)		6,49E-05 pC/(m/s ²)	8,05E+01	N	2,0	10000	3,25E-05	0,4%	1,11E-22
Influencia de la temperatura (base strain)	0,003	3,00E-06 pC/(m/s ²)	1,00E+00	R	1,7	10000	1,73E-06	0,0%	9,00E-28
Influencia de la temperatura (patrón)		5,05E-05 pC/(m/s ²)	1,00E+00	N	2,0	10000	2,53E-05	0,0%	4,06E-23
Influencia de la temperatura (UUT)		5,08E-03 pC/(m/s ²)	1,00E+00	N	2,0	10000	2,54E-03	0,4%	4,17E-15
Movimiento Transversal		4,72E-01 mV	4,98E-02 pC/mV(m/s ²)	N	2,0	10000	2,36E-01	7,6%	3,10E-07
Estimación de la incertidumbre tipo B, k=1	u_c			N (1σ)		4,83E-03			
Fuente de incertidumbre tipo A									
Repetibilidad Voltaje en Patrón		mV	-4,03E-02 [pC/mV(m/s ²)]			$n_i^{(3)}$	u_i	Contribución %	W-S
Repetibilidad Voltaje en UUT		mV	4,98E-02 pC/mV(m/s ²)			1,20E+01	1,76E-02	0,0%	7,95E-09
						1,20E+01	9,42E-03	0,0%	6,57E-10
Estimación de la incertidumbre tipo A, k=1									
Contribución %								100,0%	
Sumatoria c_i^2									8,50E-04
Incertidumbre combinada									1,81E-03
Incertidumbre expandida									4,26E-02
				Distribución ⁽²⁾	Factor				
				k	2,0				
				k	2,0				
Incertidumbre expandida, k=2									8,51E-02
incertidumbre final	$[pC/(m/s^2)]$								8,51E-02
	%								0,84

(1) Coeficientes de sensibilidad
(2) N: normal; Rectangular
(3) Grados de libertad

PEMA02A Apéndice 2: Septiembre 2020

Planilla de Cálculo de incertidumbres

PEMA02A: Calibración secundaria de acelerómetros piezoeléctricos por comparación con un patrón según NORMA ISO 16063-21.

Frecuencia		>200 Hz		1 kHz						
Fuente de Incertidumbre Tipo B	Valor	Intervalo	$c^{(1)}$	Distribución ⁽²⁾	Factor	$n^{(3)}$	u_i	Contribución %	W-S	$(u_i \cdot C_i)^2$
Medición Voltaje en Patrón (precisión multímetro)		4,51E-01 mV	-3,99E-02 [-pC/ mV(m/s ²)]	R	1,7	12	2,60E-01	5,0%	3,82E-04	1,08E-04
Medición Voltaje en Patrón (resolución multímetro)		5,00E-07 mV	-3,99E-02 [-pC/ mV(m/s ²)]	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31	1,33E-16
Medición Voltaje en UUT (precisión multímetro)		4,20E-01 mV	5,00E-02 pC/ mV(m/s ²)	R	1,7	12	2,48E-01	6,9%	2,89E-04	1,47E-04
Medición Voltaje en UUT (resolución multímetro)		5,00E-07 mV	5,00E-02 pC/ mV(m/s ²)	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31	2,08E-16
Calibración amplificador de carga del Patrón		1,57E-01 mV/pC	1,01E-01 [-pC/ mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,87E-02	2,9%	3,83E-09	6,33E-05
Calibración amplificador de carga del UUT		1,66E-03 mV/pC	-1,01E+01 [-pC/ mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	8,29E-04	3,3%	4,71E-17	6,98E-05
Calibración acelerómetro patrón		1,01E-03 pC/(m/s ²)	7,96E+01	N	2,0	10000	5,04E-04	75,2%	6,47E-18	1,61E-03
Drift del patrón (a cinco años, 0,05%/año)		6,49E-05 pC/(m/s ²)	7,96E+01	N	2,0	10000	3,28E-05	0,3%	1,11E-22	6,68E-06
Influencia torque (base strain)	0,003	3,00E-06 pC/(m/s ²)	1,00E+00	R	1,7	10000	1,73E-06	0,0%	9,00E-28	3,00E-12
Influencia de la temperatura (patron)		5,04E-05 pC/(m/s ²)	1,00E+00	N	2,0	10000	2,52E-05	0,0%	4,04E-23	6,36E-10
Influencia de la temperatura (UUT)		5,02E-03 pC/(m/s ²)	1,00E+00	N	2,0	10000	2,51E-03	0,3%	3,97E-15	6,30E-06
Movimiento Transversal		4,55E-01 mV	5,00E-02 pC/ mV(m/s ²)	N	2,0	10000	2,27E-01	6,0%	2,67E-07	1,29E-04
Estimación de la incertidumbre tipo B, k =1	u_c			N (1σ)		6,84E-03				4,63E-02
Fuente de incertidumbre tipo A			$c^{(1)}$			$n^{(3)}$	u_i	Contribución %	W-S	$(u_i \cdot C_i)^2$
Repetibilidad Voltaje en Patrón		mV	-3,99E-02 [-pC/ mV(m/s ²)]			1,20E+01	2,75E-02	0,1%	4,77E-08	1,21E-06
Repetibilidad Voltaje en UUT		mV	5,00E-02 pC/ mV(m/s ²)			1,20E+01	1,85E-02	0,0%	9,85E-09	8,60E-07
Estimación de la incertidumbre tipo A, k =1								100,0%		1,44E-03
Contribución %										
Sumatoria c^2										2,15E-03
Incertidumbre combinada										4,63E-02
Incertidumbre expandida				Distribución ⁽²⁾	Factor					
				k	2,0					
				k	2,0					
Incertidumbre expandida, k=2										9,26E-02
Incertidumbre final										9,26E-02
										0,92

(1) Coeficientes de sensibilidad
(2) N: normal; Rectangular
(3) Grados de libertad

PEMA02A Apéndice 2: Septiembre 2020

Planilla de Cálculo de incertidumbres

PEMA02A: Calibración secundaria de acelerómetros piezoeléctricos por comparación con un patrón según NDIRMA ISO 16063-21.

Frecuencia		> 1 kHz		a		5 kHz			
Fuente de incertidumbre Tipo B	Valor	Intervalo	c ⁽¹⁾	Distribución ⁽²⁾	Factor	n ⁽³⁾	u _i	Contribución %	w-s
Medición Voltaje en Patrón (precisión multímetro)	6,67E-01 mV	-1,62E-02	[-pC/ mV(m/s ²)]	R	1,7	12	3,85E-01	0,7%	1,83E-03
Medición Voltaje en Patrón (resolución multímetro)	5,00E-07 mV	-1,62E-02	[-pC/ mV(m/s ²)]	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31
Medición Voltaje en UUT (precisión multímetro)	5,90E-01 mV	2,05E-02	pC/ mV(m/s ²)	R	1,7	12	3,40E-01	0,8%	1,12E-03
Medición Voltaje en UUT (resolución multímetro)	5,00E-07 mV	2,05E-02	pC/ mV(m/s ²)	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31
Calibración amplificador de carga del Patrón	1,58E-01 mV/pC	9,95E-02	[-pC/ mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,88E-02	1,1%	3,86E-09
Calibración amplificador de carga del UUT	1,66E-03 mV/pC	-9,94E+00	[-pC/ mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	8,28E-04	1,2%	4,69E-17
Calibración acelerómetro patrón	1,88E-03 pC/(m/s ²)	7,89E+01		N	2,0	10000	9,40E-04	95,5%	7,82E-17
Drift del patrón (a cinco años, 0,05%/año)	6,49E-05 pC/(m/s ²)	7,89E+01		N	2,0	10000	3,25E-05	0,1%	1,11E-22
Influencia torque (base strain)	3,00E-06 pC/(m/s ²)	1,00E+00		R	1,7	10000	1,73E-06	0,0%	9,00E-28
Influencia de la temperatura (patrón)	5,02E-05 pC/(m/s ²)	1,00E+00		N	2,0	10000	2,51E-05	0,0%	3,96E-23
Influencia de la temperatura (UUT)	4,95E-03 pC/(m/s ²)	1,00E+00		N	2,0	10000	2,47E-03	0,1%	3,75E-15
Movimiento Transversal	4,62E-01 mV	2,05E-02	pC/ mV(m/s ²)	N	2,0	10000	2,31E-01	0,4%	2,85E-07
Estimación de la incertidumbre tipo B, k=1	u_c			N (1σ)		1,12E-02			
Fuente de incertidumbre tipo A									
Repetibilidad Voltaje en Patrón	mV	-1,62E-02	[-pC/ mV(m/s ²)]			1,20E+01	1,08E-01	0,1%	1,15E-05
Repetibilidad Voltaje en UUT	mV	2,05E-02	pC/ mV(m/s ²)			1,20E+01	9,99E-02	0,1%	8,29E-06
Estimación de la incertidumbre tipo A, k=1									
Contribución %								100,0%	
Sumatoria c ²									
Incertidumbre combinada									
Incertidumbre expandida				Distribución ⁽²⁾	Factor				
				k	2,0				
Incertidumbre expandida, k=2				k	2,0				1,52E-01
Incertidumbre final	[pC/(m/s²)]								
	%								1,52E-01
									1,53

(1) Coeficientes de sensibilidad
(2) N: normal; Rectangular
(3) Grados de libertad

PEMA02A Apéndice 2: Septiembre 2020

Planilla de Cálculo de incertidumbres

PEMA02A: Calibración secundaria de acelerómetros piezoeléctricos por comparación con un patrón según NORMA ISO 16063-21.

Frecuencia										
>5 kHz										
a 10 kHz										
Fuente de incertidumbre Tipo B	Valor	Intervalo	$c^{(1)}$	Distribución ⁽²⁾	Factor	$\eta^{(3)}$	u_i	Contribución %	W-S	$(u_i/c)^2$
Medición Voltaje en Patrón (precisión multímetro)		6,52E-01 mV	-1,74E-02 [-pC/mV(m/s ²)]	R	1,7	12	3,77E-01	0,6%	1,68E-03	4,28E-05
Medición Voltaje en Patrón (resolución multímetro)		5,00E-07 mV	-1,74E-02 [-pC/mV(m/s ²)]	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31	2,52E-17
Medición Voltaje en UUT (precisión multímetro)		5,93E-01 mV	2,09E-02 pC/mV(m/s ²)	R	1,7	12	3,42E-01	0,7%	1,15E-03	5,12E-05
Medición Voltaje en UUT (resolución multímetro)		5,00E-07 mV	2,09E-02 pC/mV(m/s ²)	R	1,7	10000	2,89E-07	0,0%	6,94E-31	3,64E-17
Calibración amplificador de carga del Patrón		1,58E-01 mV/pC	1,03E-01 [-pC/mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	7,88E-02	0,9%	3,86E-09	6,54E-05
Calibración amplificador de carga del UUT		1,66E-03 mV/pC	-1,03E+01 [-pC/mV(m/s ²)]	N	2,0	10000	8,29E-04	1,0%	4,72E-17	7,22E-05
Calibración acelerómetro patrón		1,97E-03 pC/(m/s ²)	8,31E+01	N	2,0	10000	9,83E-04	95,4%	9,33E-17	6,67E-03
Drift del patrón (a cinco años, 0,05%/año)		6,49E-05 pC/(m/s ²)	8,31E+01	N	2,0	10000	3,25E-05	0,1%	1,11E-22	7,27E-06
Influencia torque (base strain)	0,003	3,00E-06 pC/(m/s ²)	1,00E+00	R	1,7	10000	1,73E-06	0,0%	9,00E-28	3,00E-12
Influencia de la temperatura (patrón)		4,91E-05 pC/(m/s ²)	1,00E+00	N	2,0	10000	2,46E-05	0,0%	3,65E-23	6,04E-10
Influencia de la temperatura (UUT)		5,10E-03 pC/(m/s ²)	1,00E+00	N	2,0	10000	2,55E-03	0,1%	4,24E-15	6,51E-06
Movimiento Transversal		6,67E-01 mV	2,09E-02 pC/mV(m/s ²)	N	2,0	10000	3,33E-01	0,7%	1,24E-06	4,86E-05
Estimación de la incertidumbre tipo B, k=1	u_c			N (1σ)		1,72E-02				8,34E-02
Fuente de incertidumbre tipo A			$c^{(1)}$			$\eta^{(3)}$	u_i	Contribución %	W-S	$(u_i/c)^2$
Repetibilidad Voltaje en Patrón		mV	-1,74E-02 [-pC/mV(m/s ²)]			1,20E+01	2,05E-01	0,2%	1,48E-04	1,27E-05
Repetibilidad Voltaje en UUT		mV	2,09E-02 pC/mV(m/s ²)			1,20E+01	1,64E-01	0,2%	5,99E-05	1,17E-05
Estimación de la incertidumbre tipo A, k=1								100,0%		4,95E-03
Contribución %										
Sumatoria c^2										
Incertidumbre combinada										
Incertidumbre expandida				Distribución ⁽²⁾	Factor					
				k	2,0					
				Tipo A, N(95%)						
				k	2,0					
				Tipo B, N(95%)						
Incertidumbre expandida, k=2										1,67E-01
Incertidumbre final										
										1,67E-01
										1,64

(1) Coeficientes de sensibilidad
(2) N: normal; R: rectangular
(3) Grados de libertad