

Importancia de la calibración e interpretación del certificado de calibración

Calibración de equipos para control de voladuras

La calibración asegura que los datos registrados por el equipo son correctos y válidos. Con el transcurso del tiempo el equipo sufre desajustes. Estos pueden ser motivados por el envejecimiento de los componentes, avería de algún circuito, golpes, etc.; por este motivo, todos los equipos de medida deben ser revisados y calibrados con periodicidad.

Los equipos para medida de vibraciones producidas por voladuras están sometidos a unas condiciones de trabajo bastante duras, siempre a la intemperie, con polvo y lluvia. A estos factores se une la necesidad de transportar el equipo de un lugar a otro.

La casi totalidad de estos equipos incorporan como elemento transductor geófonos, con partes móviles muy delicadas y sensibles a los golpes.

Aunque la Norma UNE 22-381 no especifica el intervalo de calibración de los equipos, por similitud con otras normativas para este tipo de equipos, el plazo máximo entre calibraciones del equipo nunca debería ser mayor de un año (Norma UNE-EN-ISO 9001:2008, Sistemas de Gestión de Calidad y Norma UNE-EN ISO/IEC 17025:2005 Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración).

El certificado de calibración asegura ante organismos oficiales que el equipo mide co-

El presente artículo tiene por objeto el poner de manifiesto la importancia de la calibración de los equipos de medición de vibraciones para el control de voladuras (habitualmente conocidos como sismógrafos). También se explicará como interpretar el certificado que se emite tras la calibración del equipo.

Palabras clave: ACELERACIÓN, CALIBRACIÓN, ESTÁNDAR INTERNACIONAL, GEÓFONO, INCERTIDUMBRE, SISMÓGRAFO, TOLERANCIA, TRAZABILIDAD, VELOCIDAD, VIBRACIÓN.

• Iván DEL CASTILLO, Jefe de Laboratorio. VIBRATESTING, S.L.U.

rectamente, validando de este modo los resultados. Para ello, es requisito imprescindible que los patrones utilizados en el proceso de calibración sean trazables a estándares internacionales.

Procedimiento de calibración

Abreviadamente, el procedimiento empleado para la calibración de los medidores de vibración cons-

ta de los elementos que se muestran en la Fig. 1. Siendo la descripción de cada parte la siguiente:

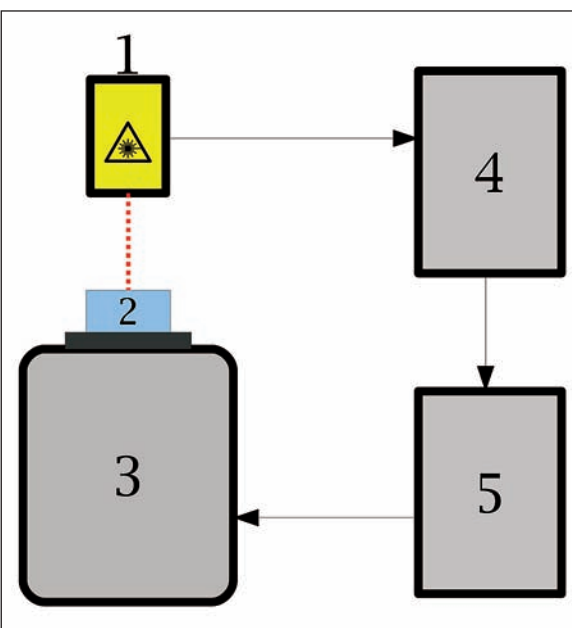
- 1: Vibrómetro Láser Doppler
- 2: Equipo a calibrar.
- 3: Excitador de vibraciones.
- 4: Controlador de vibraciones.
- 5: Amplificador de potencia.

La cadena de medida funciona del siguiente modo: El controlador de vibraciones (4) genera una señal de referencia, estable en frecuencia y amplitud. Esta señal, es introducida en el amplificador de potencia (5) que se encarga de amplificar la señal que controla el excitador de vibraciones (3). Este elemento se encarga de convertir la señal eléctrica en un movimiento mecánico.

El equipo a calibrar (2), convenientemente anclado al excitador de vibraciones (3) se mueve exactamente a la velocidad y frecuencia que se utiliza como referencia. El vibrómetro Láser Doppler (1) a su vez mide la velocidad de vibración del equipo a calibrar (2) y genera una señal eléctrica, proporcional a dicha velocidad, que se introduce nuevamente en el controlador de vibraciones (4).

De este modo, el controlador de vibraciones corrige las posibles desviaciones sobre la

señal de referencia, generando una vibración completamente estable sobre el equipo a calibrar. Una vez llegados a este punto, y con la cadena de medida perfectamente estabilizada, sólo queda realizar un registro con el equipo a cali-



[Figura 1].- Equipos y esquema de calibración.

brar (2) y comparar el resultado medido con el valor de referencia. Este proceso se repite para el rango de frecuencias del equipo.

El *Vibrómetro Láser Doppler*, produce una señal directamente proporcional a la velocidad de vibración, de este modo, se evita la necesidad de uso de acelerómetros y se mejora la precisión de la medida al no ser necesario el realizar la integración de la señal, con grandes incertidumbres a bajas frecuencias.

El equipo a calibrar debe ser montado en el excitador de vibraciones en idéntica configuración a como va a ser utilizado. La calibración del equipo con los captadores desmontados del mismo impide observar cualquier problema de resonancia producido por un montaje incorrecto de los mismos en el equipo, elementos sueltos o daños no apreciables a simple vista en los elementos de fijación internos. Téngase en cuenta que estas resonancias usualmente presentan una desviación superior al 100 % sobre el valor de referencia, y que sólo pueden detectarse calibrando el equipo con los captadores montados.

El equipo debe ensayarse en el rango de frecuencias indicado por el fabricante y/o por las indicaciones de la Norma empleada en el lugar donde se utilice. Por ejemplo, la Norma *UNE-22-381-93* (Empleada en España) establece un rango de frecuencias de 2-250 Hz. La Norma *DIN 45669* (Empleada en Alemania) establece este rango entre 1-315 Hz. Para la medida del rango de frecuencias, se emplean puntos de referencia separados por una octava, de este modo, para el rango de 2-250 Hz se emplean las frecuencias de 2, 4, 8, 16, 32, 64, 125 y 250 Hz.

El Certificado de calibración

Es el documento que recoge los resultados de la calibración. Su estructura y contenido está regulado por la Norma *UNE-EN ISO 17025:2005*. El *certificado de calibración*, como elementos más relevantes debe contener los siguientes apartados:

- Identificación del certificado. Fecha y número.
- Identificación del equipo. Modelo y número de serie.
- Peticionario del certificado.
- Fechas de entrada en el laboratorio y fecha de calibración.
- Fecha de emisión del certificado y firma del responsable.
- Detalle de todo el equipo empleado en el proceso de calibración, con identificación de modelo, fabricante y número de serie. El Laboratorio que calibra debe garantizar que todos sus equipos se encuentran calibrados y son trazables.

- Condiciones ambientales. Temperatura y humedad a la que se ha realizado la calibración.
- Indicación del procedimiento empleado.
- Trazabilidad.
- Incertidumbre.
- Resultados.

Interpretación de resultados:

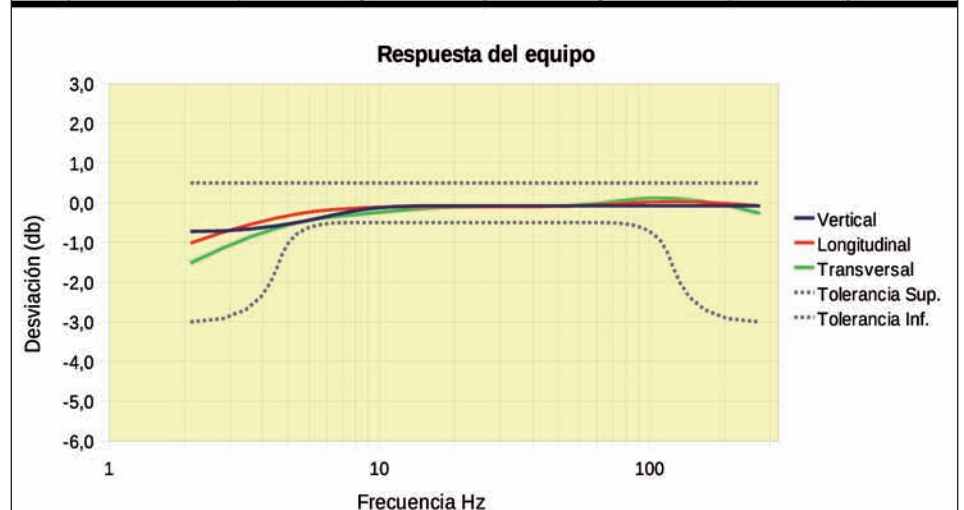
Los resultados del certificado de calibración suelen mostrarse del modo como se refleja en la **Fig. 2**.

Como puede observarse, se trata de un equipo de 3 canales, habiéndose comprobado la respuesta en frecuencias sobre todo el

rango de medida indicado por el fabricante (en este caso de acuerdo con la Norma *UNE 22-381*) en frecuencias separadas por una octava. El nivel de de la señal utilizada como patrón ha sido de 10,00 mm/s, mostrándose en las dos columnas de la izquierda la respuesta del sismógrafo y la desviación en dB.

La gráfica que acompaña los resultados nos muestra la desviación de la respuesta en función de la frecuencia. En caso de conocer la respuesta del equipo, según los datos del fabricante, esta se incluye dentro de la mencionada gráfica, con el fin de observar el cumplimiento de la misma.

	Frecuencia (Hz)	Valor referencia mm/s	Respuesta sismógrafo mm/s	Desviación dB
Canal Vertical	2	10,00	9,20	-0,72
	4	10,00	9,20	-0,72
	8	10,00	9,91	-0,08
	16	10,00	9,91	-0,08
	32	10,00	9,91	-0,08
	64	10,00	9,91	-0,08
	128	10,00	9,91	-0,08
	250	10,00	9,91	-0,08
Canal Longitudinal	2	10,00	8,90	-1,01
	4	10,00	9,66	-0,30
	8	10,00	9,89	-0,10
	16	10,00	9,89	-0,10
	32	10,00	9,89	-0,10
	64	10,00	9,89	-0,10
	128	10,00	10,12	0,10
	250	10,00	9,91	-0,08
Canal Transversal	2	10,00	8,40	-1,51
	4	10,00	9,43	-0,51
	8	10,00	9,66	-0,30
	16	10,00	9,89	-0,10
	32	10,00	9,89	-0,10
	64	10,00	9,89	-0,10
	128	10,00	10,35	0,30
	250	10,00	9,70	-0,26



■ [Figura 2] .- Resultados de la calibración.

Corresponde al usuario final determinar si las desviaciones en respuesta son válidas en función de las restricciones de la Norma que se esté empleando o circunstancias específicas de la medición.

La Norma UNE 22-381 no establece dichas tolerancias en función de la frecuencia. Se puede entender por similitud con otras Normas y respuestas estándar, que la desviación máxima para las frecuencias centrales (8 a 100 Hz) se sitúe en torno a ± 1 dB y en los extremos de la respuesta (2-8 Hz y 100 a 200 Hz) una tolerancia de ± 3 dB.

Ejemplos comunes de desajustes de equipo que precisan corrección y/o reparación del mismo por parte del fabricante son los siguientes:

– **Figura 3:** En este caso se observa que el canal Vertical (línea azul) supera la tolerancia de +0,5 dB indicada por el fabricante. Este tipo de desajuste suele estar provocado por envejecimiento de los componentes, principalmente condensadores del filtro de corrección del equipo. Precisa de corrección y/o reparación del equipo por parte del fabricante.

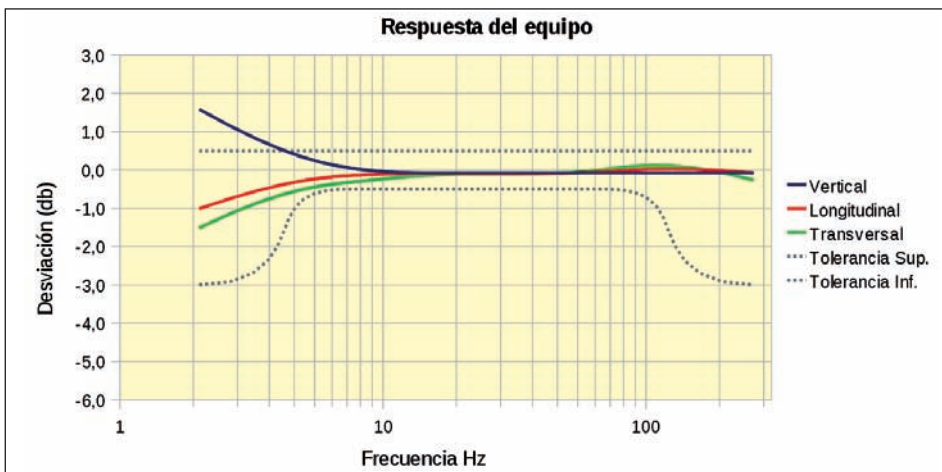
– **Figura 4:** Se observa una respuesta anómalamente alta en altas frecuencias y en los tres canales. Este tipo de problema suele estar en la mayoría de las ocasiones provocado por una resonancia debida al mal anclaje de los captadores. Esto puede deberse a que se han aflojado los tornillos de fijación de los geófonos (en este caso el propio laboratorio de calibración puede proceder al apriete de los mismos), o por que se hayan dañado las placas de fijación, precisándose de un cambio de las mismas por el fabricante. En equipos que incorporan los geófonos dentro del propio equipo de medida, también puede deberse a cualquier elemento suelto dentro del mismo (baterías, placas de circuito, etc).

Como se mencionó anteriormente, en el caso de *desajuste por resonancia*, resulta imprescindible la calibración del equipo montado en su configuración de uso, dado que de efectuar la calibración con los captadores desmontados del equipo nunca se pondría de manifiesto este problema.

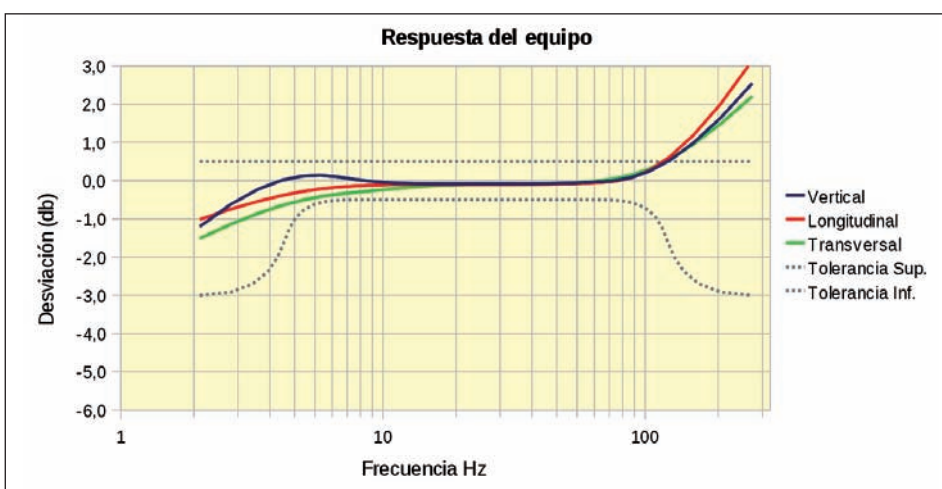
Definiciones

Trazabilidad

La *trazabilidad* asegura que los equipos empleados en el proceso de calibración, y por consiguiente el equipo calibrado, puede ser comparado con estándares internacionales.



■ [Figura 3] .- Desajuste en baja frecuencia.



■ [Figura 4] .- Desajustes por resonancia.

La cadena de de comparaciones debe siempre terminar con un patrón primario en unidades del Sistema Internacional.

Existen razones legales y técnicas para la trazabilidad de las calibraciones. Para el campo de aplicación de los equipos de medición de vibraciones generadas por voladuras esto es aún mas importante, dado que se trata de la aplicación de criterios de prevención de daños a estructuras, con las consiguientes implicaciones legales que puede conllevar una medida errónea.

Incertidumbre

Todo proceso de calibración lleva asociada una incertidumbre. La *Incertidumbre de Medida* es un parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que pueden atribuirse razonablemente al mensurando.

Bibliografía

- NORMA UNE-EN ISO 9001:2008. **Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.**

- NORMA UNE-EN ISO 17025:2005: **Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.**
- NORMA UNE 22-381-93: **Control de vibraciones producidas por voladuras.**
- GUÍA EA 4/02: **Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration.**
- GUÍA EAL-G12: **Traceability of Measuring and Test Equipment to National Standards.**

VIBRATESTING, S.L.U.

gaitero de Soutelo, 3-bajo
36004 Pontevedra

Tel.: 986 860 272 • Fax: 986 853 840

E-mail: laboratorio@vibratesting.eu

Web: www.vibratesting.eu

